

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): OCHIAI, et al.
Serial No.: Not yet assigned
Filed: June 24, 2003
Title: ELECTRON MICROSCOPE INCLUDING APPARATUS OF X-RAY ANALYSIS AND METHOD OF ANALYZING SPECIMENS USING SAME
Group: Not yet assigned

LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Honorable Commissioner of
Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

June 24, 2003

Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on Japanese Patent Application No.(s) 2002-319247, filed November 1, 2002.

A certified copy of said Japanese Application is attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP



Melvin Kraus
Registration No. 22,466

MK/alb
Attachment
(703) 312-6600

310201-45
YU

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年11月 1日

出願番号

Application Number:

特願2002-319247

[ST.10/C]:

[JP2002-319247]

出願人

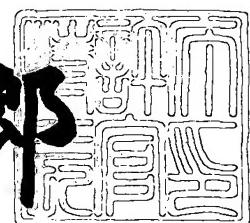
Applicant(s):

株式会社日立ハイテクノロジーズ

2003年 5月 6日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3032456

【書類名】 特許願

【整理番号】 H02012431A

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/30

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 落合 黜

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ設計・製造統括本部那珂事業所内

【氏名】 黒崎 利栄

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ設計・製造統括本部那珂事業所内

【氏名】 久保 俊郎

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ設計・製造統括本部那珂事業所内

【氏名】 鈴木 直正

【特許出願人】

【識別番号】 501387839

【氏名又は名称】 株式会社 日立ハイテクノロジーズ

【代理人】

【識別番号】 100075096

【弁理士】

【氏名又は名称】 作田 康夫

【電話番号】 03-3212-1111

【提出物件の目録】

【物件名】	明細書	1
【物件名】	図面	1
【物件名】	要約書	1
【ブルーフの要否】	要	

【書類名】明細書

【発明の名称】電子顕微鏡またはX線分析装置及び試料の分析方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】

電子源、電子ビームを集束するレンズを備える電子ビーム光学系と、電子ビーム光学系を制御する光学系制御装置と、試料を載置する試料台と、該電子ビームを該試料に照射して該試料から発生する電子を検出する電子線検出器と該試料から発生するX線を検出するX線検出器と両方の検出器からの信号を処理して、それぞれ試料の画像形成および元素分析を実施する処理装置を備える電子顕微鏡において、複数種類の標準的な物質のX線スペクトル(参照スペクトル)と各参照スペクトルに対応する物質名を含むラベルをデータとして有するデータベースを具備しており、試料のX線スペクトル(サンプルスペクトル)を前記データベース中の参照スペクトルと照合して前記サンプルスペクトルのスペクトル形状との一致度を計算し、一致度が高い前記データベース中の参照スペクトルを抽出し、抽出された参照スペクトルの前記ラベルから試料の物質を同定して分析を実施する際に、前記X線検出器のX線エネルギーに対する感度データを備え、かつ、サンプルスペクトルのピークを含むように複数個のX線エネルギー範囲を設定し、前記参照スペクトルに前記感度データを乗じた上で、前記設定したX線エネルギー範囲ごとに参考スペクトルの強度を前記サンプルスペクトルの強度に規格化して、そのサンプルスペクトルを規格化した参考スペクトルと照合し、かつ、各X線エネルギー範囲についてサンプルスペクトルと参考スペクトルとの一致度の高い順に参考スペクトルを一または複数個抽出し、そのラベルと一致度と前記規格化に用いた数値を出力する手段を有することを特徴とする電子顕微鏡。

【請求項2】

請求項1記載のラベルと一致度と前記規格化に用いた数値を出力する機能が一致度の高い順に第1候補または第1候補から第2候補までまたは第1候補から第3候補までを出力することを特徴とした電子顕微鏡。

【請求項3】

2つ以上の異なる加速電圧で得たサンプルスペクトルの強度比を表示すること

を特徴とする請求項1記載の電子顕微鏡。

【請求項4】

請求項1記載の感度データが参照スペクトルを取得した時点に取得したシリコンウエハ等の標準試料のX線スペクトルと照合直前に取得した前記標準試料のX線スペクトルの強度比とすることを特徴とする請求項1記載の電子顕微鏡。

【請求項5】

電子源、電子ビームを集束するレンズを備える電子ビーム光学系と、電子ビーム光学系を制御する光学系制御装置と、試料を載置する試料台と、該電子ビームを該試料に照射して該試料から発生する電子を検出する電子線検出器と該試料から発生するX線を検出するX線検出器と両方の検出器からの信号を処理して、それぞれ、試料の画像形成および元素分析を実施する処理装置を備える電子顕微鏡において、複数種類の標準的な物質のX線スペクトル(参照スペクトル)と各参照スペクトルに対応する物質名を含むラベルをデータとして有するデータベースを具備し、試料上の複数個の観察点についてX線検出器により得た複数個のX線スペクトル(サンプルスペクトル)を格納する記憶装置を具備し、該複数個のサンプルスペクトル間の相互照合により該サンプルスペクトルを1個または複数個のグループに分類し、各グループの一つのサンプルスペクトルについて元素分析する手段を有することを特徴とする電子顕微鏡。

【請求項6】

請求項5記載の相互照合をする際に、サンプルスペクトルのピークを含むように設定した1個または複数個のX線エネルギー範囲ごとにサンプルスペクトル間で相互照合する機能を有することを特徴とする電子顕微鏡。

【請求項7】

電子源、電子ビームを集束するレンズを備える電子ビーム光学系と、電子ビーム光学系を制御する光学系制御装置と、試料を載置する試料台と、該電子ビームを該試料に照射して該試料から発生する電子を検出する電子線検出器と該試料から発生するX線を検出するX線検出器と両方の検出器からの信号を処理して、それぞれ、試料の画像形成および元素分析を実施する処理装置を備える電子顕微鏡において、前記X線検出器でX線を検出することにより単位時間当たりのX線発生個

数を検出し、それに基づいて前記電子ビームの電流量をフィードバック制御する手段を有することを特徴とする電子顕微鏡。

【請求項8】

試料からのX線発生個数が1秒間に1000個から2000個の範囲になるように電子ビームの電流量をフィードバック制御することを特徴とする請求項7記載の電子顕微鏡。

【請求項9】

電子源、電子ビームを集束するレンズを備える電子ビーム光学系と、電子ビーム光学系を制御する光学系制御装置と、試料を載置する試料台と、該電子ビームを該試料に照射して該試料から発生する電子を検出する電子線検出器と該試料から発生するX線を検出するX線検出器と両方の検出器からの信号を処理して、それぞれ試料の画像形成および元素分析を実施する処理装置を備える電子顕微鏡において、複数種類の標準的な物質のX線スペクトル(参照スペクトル)と各参考スペクトルに対応する物質名を含むラベルをデータとして有するデータベースを具備しており、試料のX線スペクトル(サンプルスペクトル)を前記データベース中の参考スペクトルと照合して前記サンプルスペクトルのスペクトル形状との一致度を計算し、一致度が高い前記データベース中の参考スペクトルを抽出し、抽出された参考スペクトルの前記ラベルから試料の物質を同定して分析を実施する際に、前記X線検出器のX線エネルギーに対する感度データを備え、かつ、サンプルスペクトルのピークを含むように複数個のX線エネルギー範囲を設定し、前記参考スペクトルに前記感度データを乗じた上で、前記設定したX線エネルギー範囲ごとに参考スペクトルの強度を前記サンプルスペクトルの強度に規格化して、そのサンプルスペクトルを規格化した参考スペクトルと照合し、かつ、各X線エネルギー範囲についてサンプルスペクトルと参考スペクトルとの一致度の高い順に参考スペクトルを一または複数個抽出し、そのラベルと一致度と前記規格化に用いた数値を出力することを特徴とする試料の分析方法。

【請求項10】

電子源、電子ビームを集束するレンズを備える電子ビーム光学系と、電子ビーム光学系を制御する光学系制御装置と、試料を載置する試料台と、該電子ビーム

を該試料に照射して該試料から発生する電子を検出する電子線検出器と該試料から発生するX線を検出するX線検出器と両方の検出器からの信号を処理して、それぞれ、試料の画像形成および元素分析を実施する処理装置を備える電子顕微鏡において、複数種類の標準的な物質のX線スペクトル(参照スペクトル)と各参照スペクトルに対応する物質名を含むラベルをデータとして有するデータベースを具備し、試料上の複数個の観察点についてX線検出器により得た複数個のX線スペクトル(サンプルスペクトル)を格納する記憶装置を具備し、該複数個のサンプルスペクトル間の相互照合により該サンプルスペクトルを1個または複数個のグループに分類し、各グループの一つのサンプルスペクトルについて元素分析することを特徴とする試料の分析方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体デバイス、液晶デバイス、磁気ヘッド、等の電子デバイスやマイクロデバイス等の研究開発や製造における観察・分析・評価手段として利用される電子顕微鏡を備えた装置システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

メモリー等のデバイスを製造する場合、製造工程中に発生した異物が混入することがある。異物の例としてはエッチング残り、レジスト残りに代表される処理材料と処理容器の壁材料、ウェーハを固定する材料、真空ガスライン材料等に起因する異種粒子があげられる。これらの異物がウェーハに付着すると不良品が発生することがある。

【0003】

ウェーハに付着した異物の元素組成を分析し、異物の種類からその発生源を追求し、その原因を取り除くことが、デバイス製造の歩留まりを上げるために重要なである。

【0004】

試料の元素組成情報を得る手段として電子線を照射して、発生するX線を検出

する手法が知られている。X線は試料表面及び表面近傍の原子の電子が励起状態からより低いエネルギー状態に落ちるときに放出される特性X線と入射電子が制動されて放出される制動輻射による入射電子線のエネルギー以下の連続X線からなる。特性X線は励起状態によりK、L、及びM線で示される元素に固有なエネルギーをもつ。従って、スペクトルに現れるピークのエネルギーを解析することにより試料の元素組成を知ることができる。この方法はエネルギー分散型X線分光法(EDXまたはEDS)と呼ばれている。この方法による装置はオックスフォードインスツルメント(Oxford Instrument)、エダックス(EDAX)、サーモノランインスツルメント(ThermoNORAN Instrument)等の各社から市販されており、定性分析、定量分析の両方が可能になっている。ユーザーは得られたスペクトルを定性分析、定量分析により分析し、元素組成を知ることができる。

【0005】

X線スペクトルから試料の組成を同定する別の例が、特開昭63-108253(公知例1)に開示されている。複数個の既知物質の特性X線スペクトル(参照スペクトル)を記憶装置に登録しておき、未知物質のX線スペクトルを前記登録しておいた参考スペクトルと照合して物質を同定する方法が述べられている。

【0006】

この方法によりウェーハ表面の異物を検査する例は、特開平8-144811(公知例2)に開示されている。この例では、反射電子の信号の強弱による像を観測することにより異物位置を決定し、異物のX線スペクトルを参考スペクトルと照合して異物の組成を同定可能にする構成について述べられている。

【0007】

別の方法が特開2000-321225(公知例3)に開示されている。これは、ウェーハ上の異物部分のX線スペクトルと異物のない部分のX線スペクトル(バックグラウンドスペクトル)から異物の正味のX線スペクトルを求め、データベースと照合して異物の材料組成を求める方法について述べられている。

【0008】

上記の方法により求めた異物の情報をあらかじめ定めたカテゴリーに一般化し、登録することにより欠陥原因を特定する方法が特開2001-68518に開

示されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

電子線は試料に入射すると、細く絞られても、試料内で物質との相互作用を受けて拡散する。拡散領域の大きさは試料を構成する元素と電子線の加速電圧に依存する。図18は加速電圧15kVと5kVの電子線をシリコンSi、タンゲステンWの試料に照射したときの電子線拡散状況を示したモンテカルロ法による計算結果である。試料がシリコンの場合、拡散領域の大きさは加速電圧15kVの電子線で約4ミクロン、加速電圧5kVの電子線で約0.4ミクロンである。電子線励起によりX線はほぼこの領域で発生する。すなわち観察されるX線スペクトルは電子線の照射点だけではなくこの拡散領域に含まれる物質の情報を反映したものになっている。従って、元素分析の空間分解能は照射する電子線のビームサイズではなくこの拡散領域の大きさで決定される。

【0010】

近年、微細化を遂げた半導体素子の加工寸法はサブミクロンレベルになっており、素子特性を劣化させる異物の寸法も小さくなっている。図19は製造途中工程の半導体素子構造と図18に示したSi中の電子線の拡散領域を照合した図である。小さな異物のEDX分析では、電子線が異物を透過して基板内に拡散する。このため、観察されるX線スペクトルは異物と基板(バックグラウンド)の情報を含んでおり、分析を困難にしている。特に、途中工程の基板では基板にパターン、すなわち、酸化膜、電極、誘電体膜等が形成されており、これらのはがれ物が異物になっている場合には、これらの物質と区別する必要がある。

【0011】

また、バックグラウンドの影響を小さくするために、すなわち、拡散領域を小さくするために加速電圧を下げるとき励起できる特性X線が限定され、重なりのある特性X線ピークで元素同定する必要がある。一例を図20により説明する。図20はシリコンウェハ表面にある厚さ50nmのチタンTi異物のX線スペクトルである。加速電圧15kVと5kVの2つの電子線について得たものである。加速電圧15kVの場合、X線エネルギー(x-ray energy)が4.51keVのところにTi-K線ピーク

が観測されるが、加速電圧5kVの場合ではこの特性X線を励起することができず、このピークは観測されない。この場合にはX線エネルギー0.45keVに観察されるTi-L線によりチタン元素の存在を判定する。ところが、このX線エネルギー領域は酸素や窒素のK線ピークがあり、これらの元素が存在する場合にはピークが重なって観測されるので分析が困難とされていた。

また、加速電圧を低くした場合、2次電子像の観察には十分な電流でも、X線の発生量が少なく、たとえば、上記の例で加速電圧を15kVの設定から加速電圧のみを5kVに変更した場合、15kVの加速電圧でTi元素の同定に主に用いたTi-KピークのX線発生量と比較して、Ti-LのX線の発生量は10分の1であり、元素の同定精度が劣化するという問題があった。

【0012】

さらに、従来の技術の項で述べた従来法には次のような問題がある。

【0013】

市販のX線検出装置に付属している定性分析、定量分析ソフトによる分析はマニュアルであり、専門家でないユーザーが使用するには煩雑であり、プロセス工程の管理には不十分であり、自動的に異物の元素組成を出力するシステムが求められている。

公知例1および公知例2の方法は、一様な元素組成の試料に対しては有効であるが、基板上の小さな異物の場合には、図21に示す様に同じ組成の異物でも異物の大きさ（厚さ）によりX線スペクトルが大きく異なりデータベースに格納した参照スペクトルと合致しないという問題があった。また、異物の厚さに応じたX線スペクトルを用意することも考えられるが、参照スペクトルの数が多くなり照合に時間がかかるという問題があった。さらに、X線検出器のばらつきや検出光学系の違いによりX線エネルギーに対する感度（分光感度）が異なるのが一般的で、データベースとして用意するX線スペクトルを装置ごとに用意する必要がある。また、時間経過と共に、X線窓の汚れ等が原因で分光感度が変わってしまい、X線スペクトルの照合に問題が発生することがある。

公知例3に開示されている方法はウェーハ上の異物部分のX線スペクトルと異物のない部分のX線スペクトル（バックグラウンドスペクトル）から異物の正味のX

線スペクトルを求め、データベースと照合して異物の材料組成を求める方法であるが、異物の大きさによりバックグラウンドからのスペクトル成分が変化するので、すなわち、バックグランドと異物の単純な線形和でないので誤った結果が得られる可能性があるという問題があった。この問題の一例を図22により説明する。図22左図は元素Aを成分とする構造物70を内部に持つシリコンウエハ20に電子線8を照射した場合を示す模式図である。電子線8はウェーハ20の内部で半球型の領域71に拡散し、構造物70がこの領域内に存在するような場合に、観察されるX線スペクトルはシリコンと元素Aの特性X線ピークからなる。一方、右図は同じシリコンウエハの表面に元素Aからなる異物22がある場合を示す。電子線の拡散領域は異物22があるために左図に示した領域よりも小さい領域71となる。この場合に得られるX線スペクトルもシリコンと元素Aの特性X線ピークを持つ。右図と左図で得られるX線スペクトルがほとんど同じになる場合があり、この場合にバックグランドである左図の場合に得られたX線スペクトルで右図の場合のスペクトルを引き算するとピークが消えてしまうという問題があった。

上述の問題点に鑑み、本願の目的は、試料表面の異物の元素組成を高空間分解能、高精度、高スループットで分析できる電子顕微鏡またはX線分析装置及び試料の分析方法を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】

以上に述べたような目的は、以下に示す構成により達成される。

(1) 試料からのX線の発生個数が1秒間に1000個から2000個の範囲になるように該電子ビームの電流量を制御する機能を有することを特徴とする電子顕微鏡とする。

電子源、電子ビームを集束するレンズを備える電子ビーム光学系と、電子ビーム光学系を制御する光学系制御装置と、試料を載置する試料台と、該電子ビームを該試料に照射して該試料から発生する電子を検出する電子線検出器と該試料から発生するX線を検出するX線検出器と両方の検出器からの信号を処理して、それぞれ、試料の画像形成および元素分析を実施する処理装置を備える電子顕微鏡にお

いて、前記X線検出器でX線を検出することにより単位時間当たりのX線発生個数を検出し、それに基づいて前記電子ビームの電流量をフィードバック制御する手段を有することを特徴とする電子顕微鏡とする。さらに、試料からのX線発生個数が1秒間に1000個から2000個の範囲になるように電子ビームの電流量をフィードバック制御する。

【0015】

これにより、ユーザーが手動で照射電流を調整する必要がなく、また、X線検出器の性能を損なうことなく大きなX線発生量を確保できる電子顕微鏡を提供できる。

(2) 複数種類の標準的な物質のX線スペクトル(参照スペクトル)と各参照スペクトルに対応する物質名を含むラベルをデータとして有するデータベースを具備しており、試料のX線スペクトル(サンプルスペクトル)を前記データベース中の参照スペクトルと照合して前記サンプルスペクトルのスペクトル形状との一致度を計算し、一致度が高い前記データベース中の参照スペクトルを抽出し、抽出された参照スペクトルの前記ラベルから試料の物質を同定して分析を実施する際に、前記X線検出器のX線エネルギーに対する感度データを備え、かつ、サンプルスペクトルのピークを含むように複数個のX線エネルギー範囲を設定し、前記参照スペクトルに前記感度データを乗じた上で、前記設定したX線エネルギー範囲ごとに参照スペクトルの強度を前記サンプルスペクトルの強度に規格化して、そのサンプルスペクトルを規格化した参照スペクトルと照合し、かつ、各X線エネルギー範囲についてサンプルスペクトルと参照スペクトルとの一致度の高い順に参照スペクトルを一または複数個抽出し、そのラベルと一致度と前記規格化に用いた数値を出力する手段を有することを特徴とする電子顕微鏡とする。

さらに、上記の出力する機能が一致度の高い順に例えば、第3候補までを出力することを特徴とした電子顕微鏡とする。また、2つ以上の異なる加速電圧で得たサンプルスペクトルの強度比を表示することを特徴とする電子顕微鏡とする。さらに前記感度データが参照スペクトルを取得した時点に取得したシリコンウエハ等の標準試料のX線スペクトルと照合直前に取得した前記標準試料のX線スペクトルの強度比とする。

【0016】

これにより、スペクトルピークが重なっている元素の分析や、異物および異物下方の大きさの異なる領域の基板からのX線スペクトルを照合することで、どの元素が異物に含まれているかの情報を得ることが可能になるなど、高感度、高精度な元素または物質の分析が可能な電子顕微鏡を提供できる。また、装置間の分光感度の差は標準試料を用いた構成曲線により較正できるので、用意しておくデータベースは1種類であらかじめ別の装置で取得したデータベースを無駄にすることなく拡充することが可能となる。また、同一装置でもX線窓の汚れ等により分光感度が変化しても標準試料を用いた較正曲線を取得することによりデータベースとの照合を有效地に維持できる。

(3) 試料上の複数個の観察点についてX線検出器により得た複数個のX線スペクトル(サンプルスペクトル)を格納する記憶装置を具備し、該複数個のサンプルスペクトル間の相互照合により該サンプルスペクトルを1個または複数個のグループに分類し、各グループの一つのサンプルスペクトルについて元素分析する手段を有することを特徴とする電子顕微鏡とする。

さらに、サンプルスペクトルのピークを含むように設定した1個または複数個のX線エネルギー範囲ごとにサンプルスペクトル間で相互照合する機能を有することを特徴とする電子顕微鏡。

【0017】

さらに、上記相互照合により自動分類したあと分類したX線スペクトルについて元素分析することを特徴とする電子顕微鏡とする。

【0018】

これにより、観察すべき異物点ごとに取得したX線スペクトルを、取得するごとにデータベースと照合することなく、代表的なスペクトルで分類することが可能となり、代表的なスペクトルについてのみデータベースと照合、または、定性分析、または定量分析を実施して、各異物の元素組成を短時間で分析できる電子顕微鏡を提供できる。

【0019】

【発明の実施の形態】

本発明の実施形態である電子顕微鏡またはX線分析装置及び試料の分析方法の構成及びその動作を説明する。

＜実施の形態1＞

第1の実施例の装置構成と動作を図1、図2、図3、図4、および図5を用いて説明する。図1、図2は装置全体構成を、図3は走査電子顕微鏡光学系および試料台周辺の構成を詳細に示す。なお、本実施の形態では、本発明の電子顕微鏡のうちウェーハ対応装置を示す。また、図3は、図1の概略俯瞰断面を表しているが、説明の都合上、機器の向きや詳細には幾分の相違があるが本質的差ではない。図1において、装置システムの中心部には電子ビーム光学系1とX線検出器16が真空試料室60の上部に適宜設置されている。真空試料室60の内部には試料となるウェーハ20を載置する試料台24が設置されている。2基の光学系31及び41は各々の中心軸がウェーハ20表面付近で一点に交わるように調整されている。試料台24にはウェーハ20を前後左右に高精度で移動する機構を内蔵しており、ウェーハ20上の指定箇所が電子ビーム光学系1の真下に来るよう制御される。試料台24は、さらに、回転、上下、あるいは傾斜する機能を有する。真空試料室60には図示を省略した排気装置が接続され適切な真空に制御されている。尚、光学系1にも図示を省略した排気系を個別に備え適切な真空中度に維持している。真空試料室60内にはウェーハ導入手段61、ウェーハ搬送手段62を有する。真空試料室60に隣接してウェーハ移載ロボット82、カセット導入手段81が配置されている。真空試料室60の左隣には装置全体の一連の処理を制御管理する主操作制御部100およびX線検出器制御部101を配備している。主操作制御部100とX線検出器制御部101は相互にデータをやりとりで切るようになっており、主操作制御部100からX線検出器制御部101を制御することが可能となっている。

【0020】

次に、本実施形態のウェーハ導入操作を概説する。ウェーハカセット23がカセット導入手段81のテーブルに置かれ、作業開始指令が操作制御卓100から発せられると、ウェーハ搬送ロボット82がカセット内の指定されたスロットから試料となるウェーハを取り出し、図2に示すオリエンテーション調整手段83

でウェーハ20の向きを所定の位置に調整される。次に、ウェーハ20はウェーハ搬送ロボット82によりウェーハ導入手段61上部のハッチ64が開かれた時点でウェーハを載置台63に乗せられる。ハッチ64を閉じると、図示を省略した真空排気手段で排気した後、ウェーハ搬送手段62が載置台63のウェーハ20を取り上げ、真空試料室60内の試料台24に載置する。尚、試料台24にはウェーハ20の反り矯正や振動防止のためウェーハ20をチャックする手段を必要に応じて設ける。

【0021】

次に、図3を用いて電子ビーム光学系とX線検出器を説明する。本発明の電子顕微鏡では、電子ビーム光学系1は、電子銃7、前記電子銃7から放出する電子ビーム8を集束する電子レンズ9、電子ビーム8の不要な裾部分をカットする絞り3、ブランкиング電極4、ファラデーカップ5、電子ビーム走査偏向器10、対物レンズ11で構成される。ファラデーカップ5は電子ビーム8が通過するための孔を持ち、電子ビーム8の電流を測定するときのみブランкиング電極5により電子ビーム8をファラデーカップの通過孔から偏向し、電子線をファラデーカップに入射させる。その他に、電子ビーム8をウェーハ20に照射してウェーハ20からの二次電子を検出するための二次電子検出器6、ウェーハ20を載せる可動の試料台24と電子ビーム8の照射時にウェーハ20から放射されるX線を検出するためのX線検出器16と、図示していないが試料からの反射電子を検出する反射電子検出器を備えている。電子ビーム光学系、試料台、2次電子検出器、反射電子検出器は主操作制御部100により制御される。

【0022】

次に、本実施形態で、ウェーハ20導入後の主に元素組成評価の過程を概説する。

【0023】

電子ビーム8がウェーハ20に入射するとウェーハ20の表面から表面形状を反映した2次電子と反射電子が発生するとともに、入射部近傍の元素組成に特有な特性X線を含むX線が発生する。試料台移動によりウェーハ20上の所望の観測領域が電子光学系の真下に来るようにして、電子ビーム8を偏向レンズで面を

走査し、ウェーハ20からの2次電子または反射電子を検出して得られる2次電子像または反射電子像によりウェーハ20上の異物を観察し、異物が観察領域の中央に位置する様に調整する。次に静止させた電子ビーム8を異物に照射して発生するX線をX線検出器16で検出することによりX線スペクトルを得る。次にX線スペクトルを解析して異物の元素組成を求める。X線スペクトルおよび解析結果は操作制御部100内の表示装置に表示されると共に、記憶装置に保存される様になっている。光学式の異物検査装置により求めたウェーハ20上の異物の位置座標により試料台を制御して異物が観察領域内に入るようにできる。

【0024】

電子ビーム8の加速電圧は図18と図19に示した様に、加速電圧が低いほどウェーハ20の内部での拡散領域が小さくなる。ウェーハ20上の異物を観察する場合には異物を突き抜けた電子がウェーハ20内で拡散するため、異物の下近傍にある物質が背景雑音として混入する。

この観点から加速電圧は低い方が異物元素分析には都合が良い。特にウェーハ20表面近傍にいくつかの元素から成る構造物が形成されている場合には有効である。一方、加速電圧が低くなると励起できる特性X線が限定されるため、分析できる元素も限定される。従って、サブミクロンの素子寸法の半導体素子が形成されている場合には数キロボルト(kV)の加速電圧が用いられる。

【0025】

高精度に元素分析を行うには高エネルギー分解能で高計数のX線スペクトルが必要である。本実施例におけるX線検出器は冷却したシリコン半導体検出素子を用いているが、エネルギー分解能を損なわず、効率良くすなわち数え落しを少なく計測するためには一秒間に1000から2000個のX線が入射するようにするのが好ましい。1秒間のX線のカウント数をX線計数率と呼び、単位としてはcps(counts per second)が一般的に用いられている。本発明の実施の形態ではX線計数率はX線検出器制御装置により測定できる様になっている。

【0026】

シリコンウエハに同じ電流で加速電圧が15kVと5kVの電子線を照射した場合、15kVの方のX線計数率が約10倍大きい。従って、高計数率で観察するには加速電

圧に応じて電流を調整する必要がある。

【0027】

図4は電子光学系の条件設定を示す流れ図である。本発明の実施の形態ではまず加速電圧を設定した後、図4に示す様に電流を初期値例えれば100pAに設定し、ウェーハ20に照射し、主操作制御部100はX線計数率をX線検出器信号処理部101から受け取る。主操作制御部100はX線計数率の値に応じて電子ビーム8の電流を増減させる。この操作によりX線検出に最適な1000から2000cpsの計数率に設定する。但し、ビーム電流の最大値は装置によって決まるので、最大値を超えるような設定になった場合にはビーム電流は最大値に設定する。

【0028】

図5は上記した電子光学系の条件設定の結果得られたシリコンウエハ表面にある厚さ50nmのチタンTi異物のX線スペクトルである。図20に示した5kVのX線スペクトルと比較するとX線エネルギーが約0.45keVのところに現れるTiのL線のピークの高さ（背景X線信号レベルからのカウント数）が同じ計測時間で約150カウントと約一桁大きくなり分析に十分なピークの高さが得られ、信号雑音比の高い元素分析が可能となる。このため、高分解能かつ高精度な観察が可能となる。

<実施の形態2>

本発明による第2の実施の形態である電子顕微鏡またはX線分析装置及び試料の分析方法を図3、図6、図7、図8により説明する。図6はX線スペクトルの分析法を示す流れ図である。図7、図8はそれぞれ主制御操作部の表示装置に表示されるX線スペクトル、分析の出力結果である。

【0029】

本実施の形態では、図3に示した構成においてX線検出器制御部101はX線スペクトルのピークのX線エネルギー値から候補となる元素を推定する定性分析機能と以下に述べる機能を有している。また、X線検出器制御部101は記憶装置を備えており、得られたX線スペクトルを参照するための複数個のX線スペクトル（参照スペクトル）を有するデータベースがその記憶装置に格納されている。個々の参照スペクトルには対応する試料名が付けられている。参照スペクトルは半

導体製造において用いられるシリコン、酸素、銅、タンガステン、金、チタン、タンタル、窒化チタンTiN、窒化タンタルTaN、2酸化炭素SiO₂等の物質について用意されている。さらに、主操作制御部100はX線検出器制御部101と情報を交換できるようになっており、X線検出器制御部101を制御したり、X線検出器制御部101から必要な情報を受け取り主操作制御部100の表示装置に表示したり、記憶装置に情報を記憶する機能を有している。

【0030】

図6に示した流れ図にしたがって、分析方法を説明する。実施の形態1で述べたようにして得た異物のX線スペクトルをまず定性分析し、図7に示したように、表示装置にX線スペクトルと定性分析結果を表示する。図7でX線スペクトルの各ピークの上に表示されている元素名が定性分析結果である。次に、データベースと照合するための領域を設定する。この照合するための領域をROI (region of interest) と呼ぶこととする。本実施の形態では図7に示すようにX線スペクトルの各ピークに対応する裾を含むようにして、かつ、複数個のROIを設定する。X線スペクトルのバックグラウンドに対して上側すなわちプラス側になっている部分をROIとする方法により設定する。ROIが設定されたら、図7の両端に矢印を持つ直線によりROIとそれに対応する番号を表示する (ROIハイライト)。図7に#1と示したROIのようにX線スペクトルのピークが重なっている場合にはこれをひとつの中のROIとする。次に、設定したROIごとにX線検出器制御部101の記憶装置に格納したデータベース中のX線スペクトルと照合する (Matching)。図8に照合結果を示す。ROIごとにその照合範囲と一致度の良い順に3個のリストを表示するようになっている。一致度は次の式で表される χ^2 で評価される。

【0031】

【数1】

数1

$$\chi^2 = \sum_{i=m1}^{m2} (aT_i - L_i)^2 / L_i$$

ここで、 T_i 、 L_i はそれぞれ照合されるX線スペクトルの値、データベース中の参考スペクトルの値である。また、 $m1$ 、 $m2$ はそれぞれROIの始点エネルギー、終点エネルギーである。 a はROI中のピークの高さを照合する参考スペクトルにそろえるための係数である。ROI中に複数個のピークがある場合は最大のピークをそろえるようにする。 χ^2 が小さいほど一致度が良いと推定し、一致度のよい順に χ^2 、 a 、参考スペクトルのラベルを結果として表示する。本例では設定したROI以外に、取得した全エネルギー範囲における照合も実施し、図8の最下段に示すようにその結果を出力するようになっている。これは非常に厚い異物の分析に有効である。

【0032】

図8のbest、2nd、3rdで示した欄が一致度の順を示す。TiN（窒化チタン）というラベルの参考スペクトルに一番一致した事を示す。エネルギー領域の欄は各ROIの始値と終値を示し、単位はkeVである。パラメーターaの値から対応する元素または物質の厚さに関する情報を得ることが可能となる。

【0033】

主操作制御部100は図8に示す情報と、2次電子像、反射電子像、位置情報をあわせて記憶装置に保存するとともに、位置情報と図8に示す情報を元にウェーハ上の異物の元素分布として表示する。また、工程との関連を示すデータベースとつき合わせて異物発生の原因に関する推定結果をユーザーに提供するようになっている。

【0034】

以上に述べたように、本実施例では、得られたスペクトルをROIごとにデータ

ベースの参照スペクトルと照合するので、同じ組成の異物でも異物の大きさ（厚さ）によりスペクトルが大きく異なりデータベースに格納した参照スペクトルと合致しないという問題を回避することが可能となる。これにより、厚さの異なる異物の参照スペクトルを用意する必要がないので、照合すべき参照スペクトルの数を少なくすることができるので照合を高スループットで実行できる。

【0035】

加速電圧が5kVの電子線で、タングステンの異物をX線測定した場合、タングステンに起因する特性X線ピークはシリコンやTa（タンタル）の特性X線ピークと重なってしまいスペクトルを観察しただけでは区別することが困難であるが、この方法により精度良く区別することが可能となった。

【0036】

本実施の形態ではROIごとの照合において一致度が良い3個までの結果を表示するようにしたが、一致度の指標となる χ^2 があらかじめ設定した値以下の結果を表示するようにしても良い。また、ROIの設定は自動的に実行されるようになっているが、ユーザーが入力して設定する方法を併用しても良い。また、一致度の指標として式（1）で表現される χ^2 を用いているが、両スペクトル間の残差の2乗和など、一致度の指標となる別の方法を用いても本発明の効果を損なうものではない。

<実施の形態3>

本発明の第3の実施の形態を図9により説明する。本実施の形態では、装置の構成は実施の形態1及び2で述べたものと同じであるが、分析方法が異なっている。

本発明の実施の形態では図9に示すようにまず、評価すべき複数個の異物のX線スペクトルをあらかじめ取得し、図3のX線検出器制御部101に備えられている記憶装置の指定した領域に保存する（異物X線スペクトル群）。各スペクトルは異物の位置座標に対応するラベルがつけられておりどのスペクトルがどの位置の異物に対応するか分かるように記憶されてようになっている。

【0037】

つぎに異物X線スペクトル群のあるスペクトルについて実施の形態2で述べた

ようにROIを設定し、異物X線スペクトル群の他のスペクトルと照合することにより、一致度の良いスペクトル同士に分類する。次に分類されたスペクトル群からひとつを選び、実施の形態2の項で述べた手順に従って、データベースの参照スペクトルと照合を実施して、各分類に一致する参照スペクトルから元素、物質を分析する。

【0038】

本実施の形態では、検査したすべての異物のX線スペクトルを参照スペクトルと照合するのではなく、異物のスペクトルをあらかじめ分類しておき、各分類のひとつのスペクトルについて参照スペクトルと照合して元素、物質名を分析するので、全体として高スループットで実行できる。この方法は検査の対象であるウェーハ上の異物がある原因により発生しており、ほぼ同じ物質からなる異物の検査の場合に特に有効である。

【0039】

以上の実施の形態1から3において、取得したX線スペクトルをデータベースの参照スペクトルと照合する際に、X線検出器の分光感度が異なっていると照合の精度が低下する分光感度はX線検出器のX線検出素子とX線透過窓のばらつき、電子顕微鏡への装着位置（試料からX線検出素子までの距離、X線取出し角）、装着後のX線透過窓の汚染による透過率の低下等により変動する。図15は異なるX線検出器を搭載した別の電子顕微鏡で取得した同じシリコンウエハ試料からのX線スペクトルの比を示す。

【0040】

本発明の実施の形態では分光感度が異なることによる照合精度の低下を防ぐために、あらかじめ、図15に示す様なデータベースの分光感度と測定時の分光感度の比を取得しておき、この分光感度比を考慮に入れて照合を行っている。さらに、X線窓の汚染や、X線検出器の交換により分光感度が変わることがあるので、定期的に新しい分光感度比を測定する様にすると良い。

【0041】

これにより、データベースを装置ごとに用意する必要がなくなり、有効にデータベースを有効に活用することが可能となる。

【0042】

また、データベースにはX線スペクトルのファイルをコピーすることにより容易に追加することができるようになっている。

<実施の形態4>

第4の実施の形態を図5、図10、図11、図12、図13、図14により説明する。本実施の形態では異なる加速電圧の電子線照射により異物の元素組成を高精度で分析する例を示す。

【0043】

本実施の形態では図10の流れ図のように、まず、加速電圧5kVの電子線でウェーハ上の異物のX線スペクトルを取得し、Aと名前を付けてX線検出器制御部に備えられている記憶装置に記憶しておく。次に加速電圧3kVで同じ異物のX線スペクトルを取得し、Bと名前をつけて同様に記憶しておく。

【0044】

次にスペクトルBとスペクトルAの比B/Aを計算し、データベースと比較することによりどの元素が異物の元素であり、その元素が下地の元素であるかの判定結果を表示する。

【0045】

以下、実例で説明をする。図5、図11はシリコンウェハ上の異物をそれぞれ加速電圧5kVおよび3kVの電子線を照射して得たスペクトルである。いずれのスペクトルにも3つの特徴的なピークが観測され、エネルギーが低い順に炭素、チタン、シリコンと同定される。図13は図5、図11に示したスペクトルの比を示す。参考のため、加速電圧3kVの電子線に対応するスペクトルを図中の下側のグラフに示した。縦軸は見やすいように調整してある。横軸はX線エネルギーである。図14はチタンとシリコンの一様な化合物の加速電圧5kVと3kVの電子線に対するX線スペクトルの比である。下側のスペクトルは加速電圧3kVのものである。図13と図14を比較するとX線エネルギー0.45keVにあるチタンピークと1.75keVにあるシリコンのピークで傾向が違うことがわかる。すなわち、図13と図14はともに、ピークのない（背景X線）部分で右下がりの曲線をもつが、一様な分布の試料の場合（図14）はチタンとシリコンのピークにおける

比はこの曲線の下側にくぼみを持つ。これに対し、シリコンウェハ上の異物（チタン）の場合（図13）ではチタンのピークにおいて、この曲線より上側にふくらみをもち、シリコンのピークではこの曲線より下側にくぼみを持つ。さらにこのくぼみは一様な試料の場合と比較してさらに深いくぼみとなっている。これから、チタンは異物の元素であり、シリコンは異物の下側にある物質という判定結果を表示する。

【0046】

図12はモンテカルロ法で計算したシリコン基板の上に厚さ50nmのチタンの薄膜をつけた試料内での電子の拡散を示す。図12(a)が加速電圧3kV、(b)が加速電圧5kVの電子についての計算結果である。3kVの電子はチタンの薄膜を抜けてシリコン基板まで拡散する割合が5kVの電子と比較して多い。このため、3kVの電子線照射によって発生するX線はより表面近傍の物質チタンからのX線によるものが多くなり、下地のシリコンからのX線は少なくなる。上記した図13と図14の差による判定結果は、このことを利用して導出したものである。

【0047】

すなわち、本実施の形態によれば観測されたX線スペクトルの比から元素の分布に関する情報を提供することが可能となり、結果として異物の発生要因の探索をより正確に実行できる。

【0048】

本実施の形態では2つの異なる加速電圧の電子線照射によるX線スペクトルによる異物の元素同定方法を示したが、3つの異なる加速電圧を用いた異物の元素同定方法を図16、図17を用いて説明する。図16は本方法の原理を説明する図で、図17はX線スペクトルの概略図である。本方法は図16に示す様に検査の対象となる工程ではなく、その工程直前の異物22が原因となる形状異常異物と呼ばれる異物の分析に有効である。図16において、21は検査対象である工程の一つ前の工程処理後の下地で、26は検査対象の工程により形成された膜である。検査対象の工程直前に形成された異物22により、形状異常となっている部分の断面図である。まず、(a)に示す様に、膜26を通過しないように選択した加速電圧の電子線8を形状異常の部分に照射すると図17(a)に示すように領域

71に電子線8は拡散し、膜71の元素の特性X線ピーク72のみが観測される。つぎに、図16(a)の電子線より高い加速電圧を持つ電子線照射した場合を図16(b)に示す。加速電圧が高くなり、電子の拡散領域71に示す様に異物22内に電子線が拡散する。この場合には図17(b)に示す様に、膜26の元素に対応するピークの他に異物22の元素に対応した特性X線ピーク73が観測される。つぎに、さらに高い加速電圧の電子線8を図16(c)に示す様に照射する。電子線は図16(c)に示す様に検査工程前の下地21に拡散するようになり、図17(c)に示す様に下地21の元素に対応する特性X線ピーク74が観測される。この方法により異物22の元素に貢する情報を得ることが可能となる。

【0049】

【発明の効果】

本発明の実施例により、電子線を照射してウェーハ上の異物からのX線を高分解能、高効率で検出できる条件で観察することが可能となると共に、対象異物の元素を高空間分解能で観察するために有効な低加速電圧の電子線励起によるX線分析で問題となる励起できる特性X線ピークの制約と励起できる特性X線ピークの重なりがある場合、異物とその下地からのX線が混在している場合でも高精度な参照スペクトルとの照合が可能となり、また少ない参照スペクトルでも有効に分析が可能となる。また、観察される元素の試料内における分布に関する情報を得ることが可能となる。これにより高精度、高感度な元素分析が可能となり、一段と微細化が進むLSIデバイス等の歩留まり向上のための異物検査を、高精度、高分解能で実施できる電子顕微鏡またはX線分析装置及び試料の分析方法を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第一の実施の形態における装置全体構成。

【図2】

本発明の第一の実施の形態における装置全体構成で平面図。

【図3】

本発明の第一の実施の形態における装置詳細構成。

【図4】

本発明の第一の実施の形態における電子線照射条件の自動設定方法を示す流れ図。

【図5】

本発明の第一の実施の形態において得られたX線スペクトルの例。

【図6】

本発明の第二の実施の形態におけるスペクトル照合方法を示す流れ図。

【図7】

本発明の第二の実施の形態における元素分析結果の出力表示例。

【図8】

本発明の第二の実施の形態における元素分析結果の出力表示例。

【図9】

本発明の第三の実施の形態における元素分析方法を示す流れ図。

【図10】

本発明の第四の実施の形態における元素分析方法を示す流れ図。

【図11】

本発明の第四の実施の形態において得られたX線スペクトルの例。

【図12】

本発明の第四の実施の形態における原理を示す図。

【図13】

本発明の第四の実施の形態におけるスペクトル比の例。

【図14】

本発明の第四の実施の形態における参照スペクトル比の例。

【図15】

本発明の実施の形態におけるスペクトル照合に用いる分光感度比の例。

【図16】

本発明の第四の実施の形態における別の応用例を示す原理図。

【図17】

本発明の第四の実施の形態における別の応用例におけるX線スペクトル。

【図18】

試料内の電子線拡散の原子番号および加速電圧依存性を示す断面図。

【図19】

試料内の電子線拡散領域と代表的な半導体素子構造の位置的関係を示す図。

【図20】

異なる加速電圧で得られたX線スペクトルの比較を示す図。

【図21】

ウェーハ表面に付着した異物のX線スペクトルの異物厚さ依存性を示す図。

【図22】

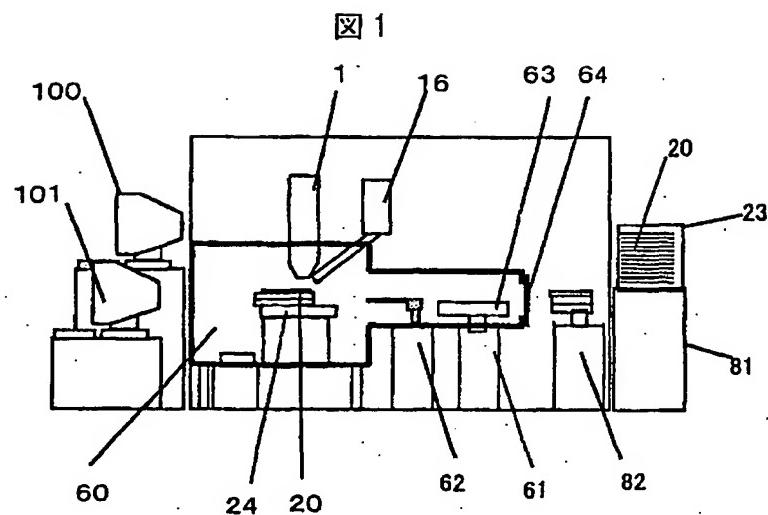
異物がない部分と異物がある部分のX線スペクトルを説明する試料断面図。

【符号の説明】

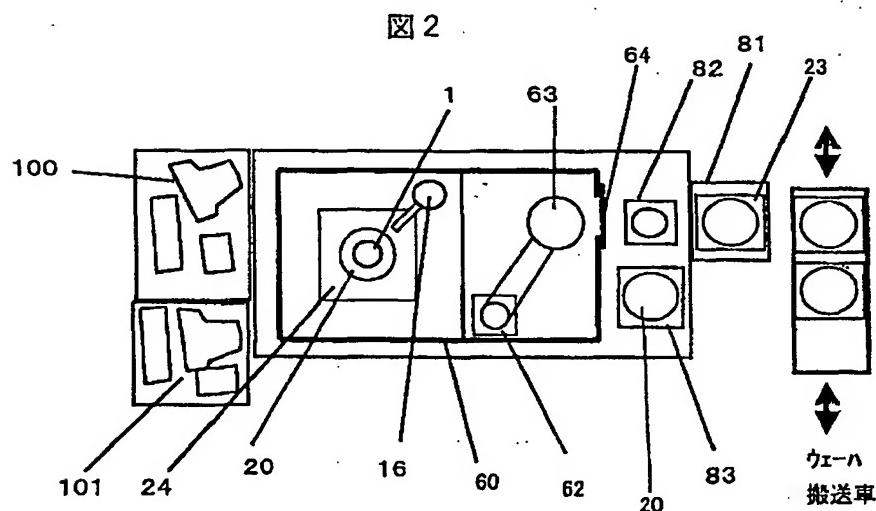
1 …電子ビーム光学系、 3 …絞り、 4 …ブランкиングコイル、 5 …ファラデーカップ、 6 …二次電子検出器、 7 …電子銃、 8 …電子ビーム、 9 …電子レンズ、 10 …電子ビーム走査偏向器、 11 …対物レンズ、 16 …X線検出器、 20 …ウェーハ、 21 …下地、 22 …異物、 23 …カセット、 24 …試料台、 25 …試料台制御装置、 26 …積層膜、 27 …タンクステンプラグ、 28 …SiO₂層間絶縁膜、 29 …シリコンナイトライド層、 60 …真空試料室、 61 …ウェーハ導入手段、 62 …ウェーハ搬送手段、 63 …載置台、 64 …ハッチ、 70 …構造物、 71 …電子線拡散領域、 72、 73、 74、 …特性X線ピーク、 81 …カセット導入手段、 82 …ウェーハ搬送ロボット、 83 …オリエンテーション調整手段、 100 …操作制御部、 101 …X線検出器制御部。

【書類名】 図面

【図1】

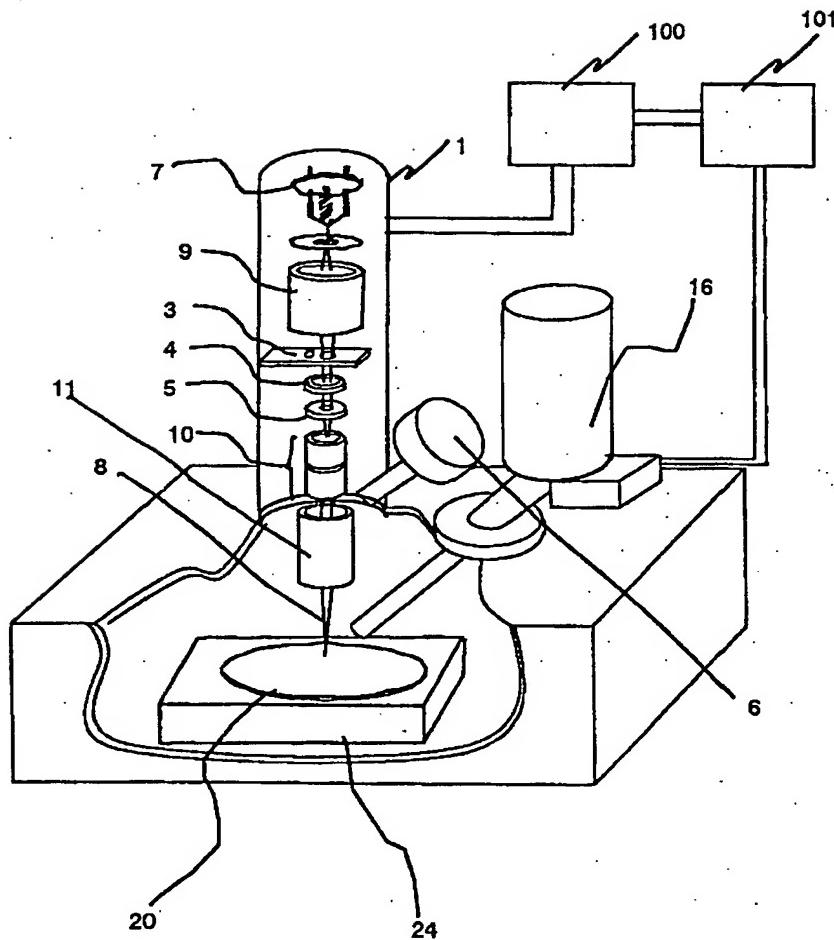


【図2】

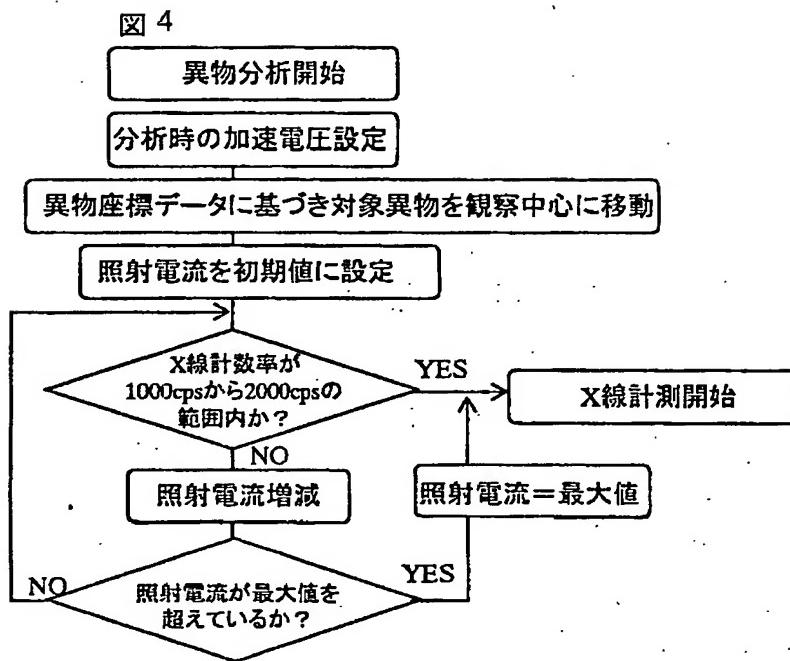


【図3】

図3

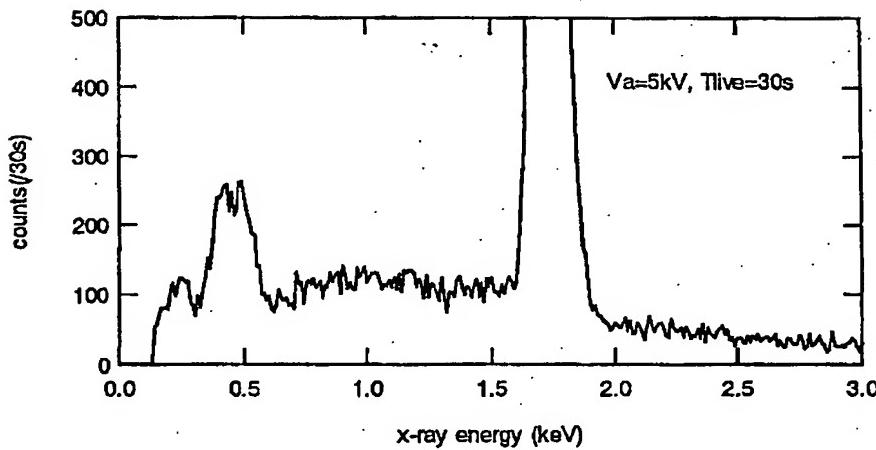


【図4】



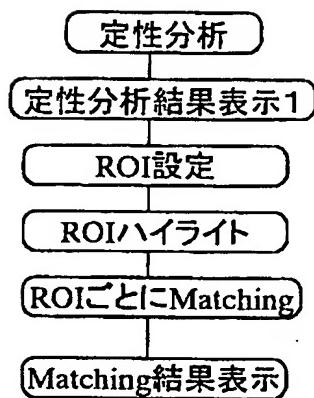
【図5】

図5



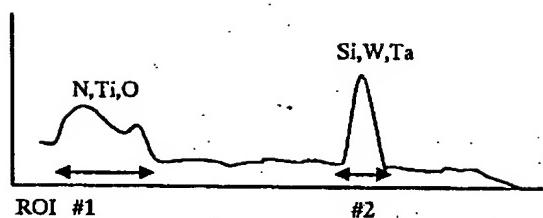
【図6】

図6



【図7】

図7



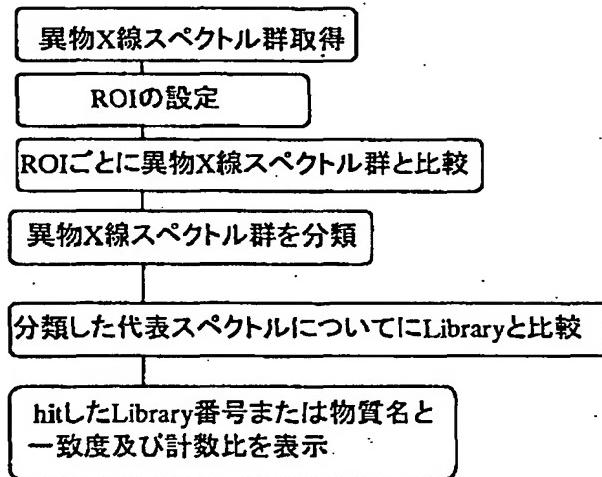
【図8】

図8

ROI 番号	エネルギー 領域(keV)	結果	一致度の良い順		
			best	2nd	3rd
#1	始値 終値	一致度 χ^2 高さバラメータ(計数比) 物質名(スペクトルラベル)	1.5 0.05 TiN50nm/Si	25 0.012 Ti50nm/Si	205 0.0001 SiO2
#2	始値 終値	一致度 χ^2 高さバラメータ(計数比) 物質名(スペクトルラベル)	0.3 0.11 Si	11.4 0.15 Ta	35 0.09 W
full	始値 終値	一致度 χ^2 高さバラメータ(計数比) 物質名(スペクトルラベル)	1.2 0.1 TiN50nm/Si	1.5 0.15 Ti50nm/Si	1.6 0.12 Si

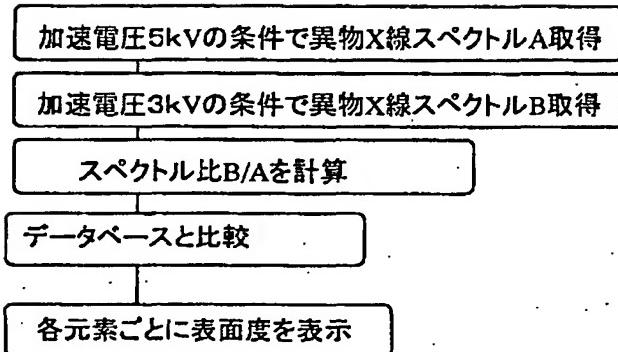
【図9】

図9



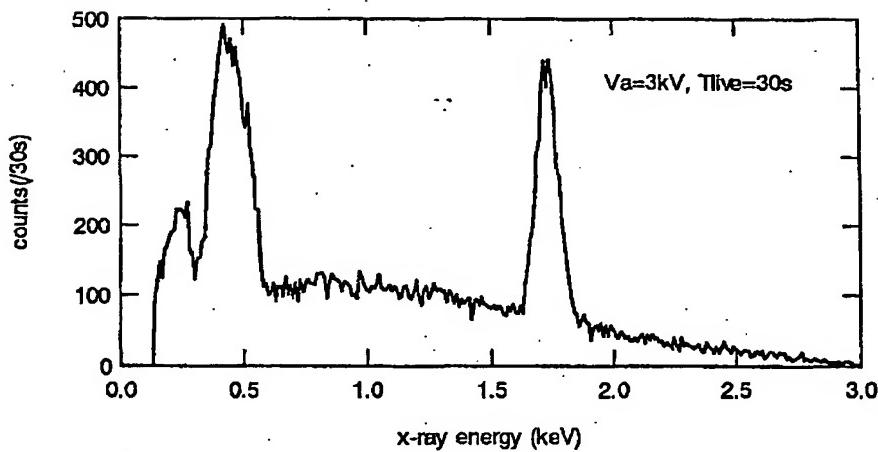
【図10】

図10



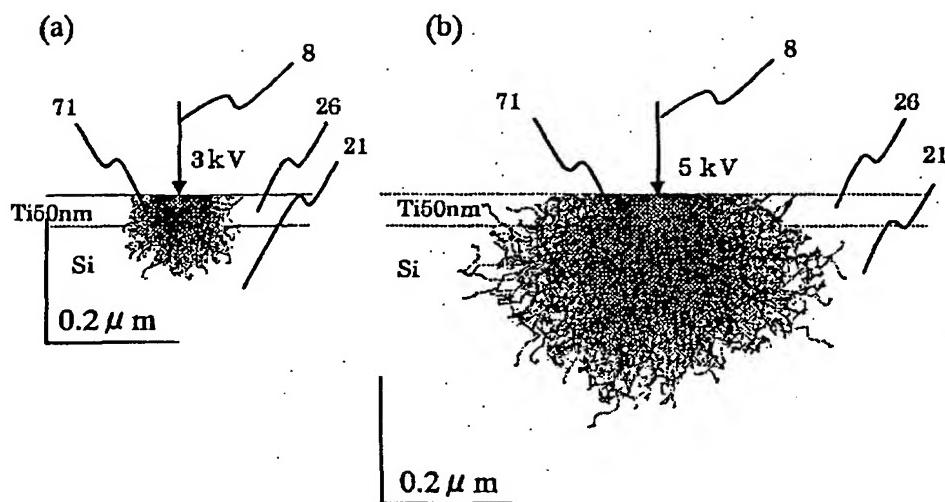
【図11】

図11



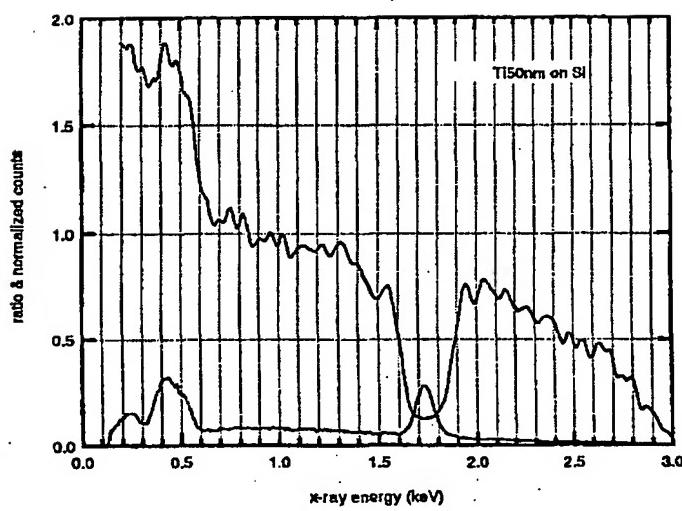
【図12】

図12



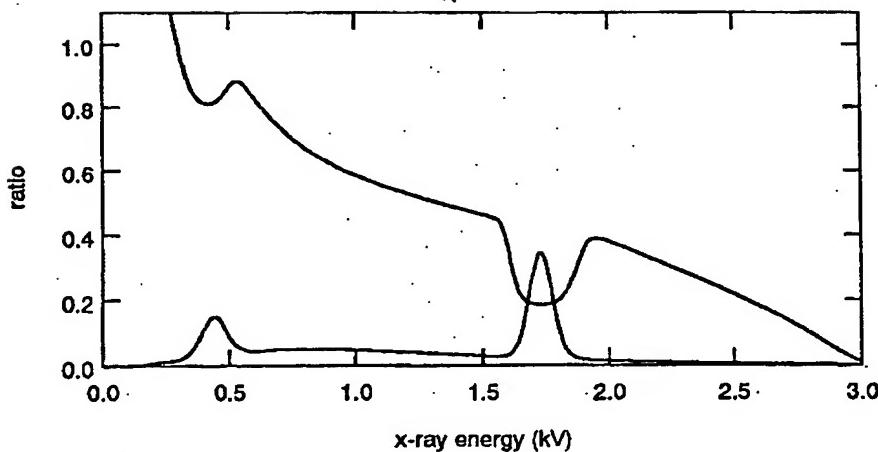
【図13】

図13



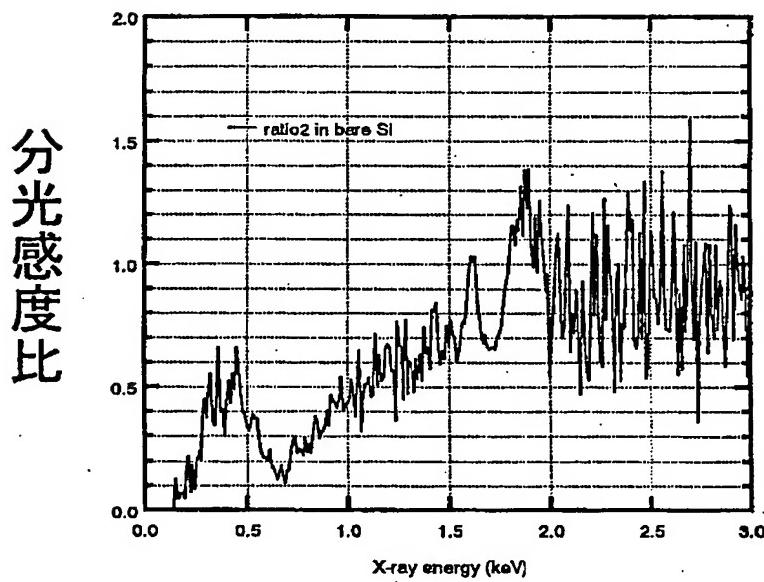
【図14】

図14



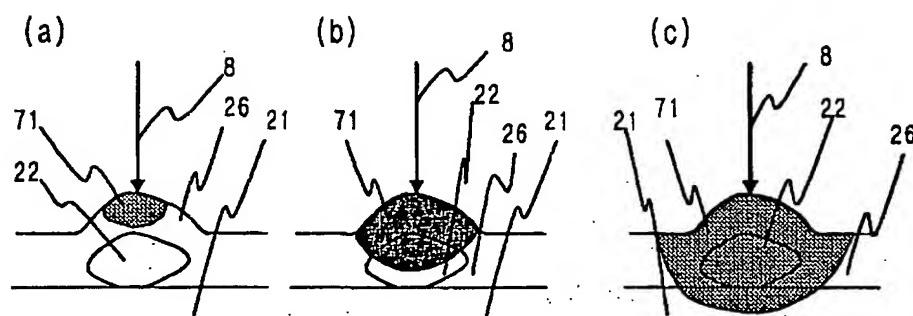
【図15】

図15



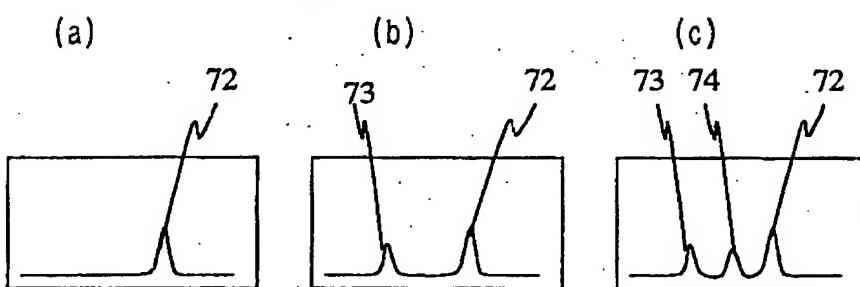
【図16】

図16



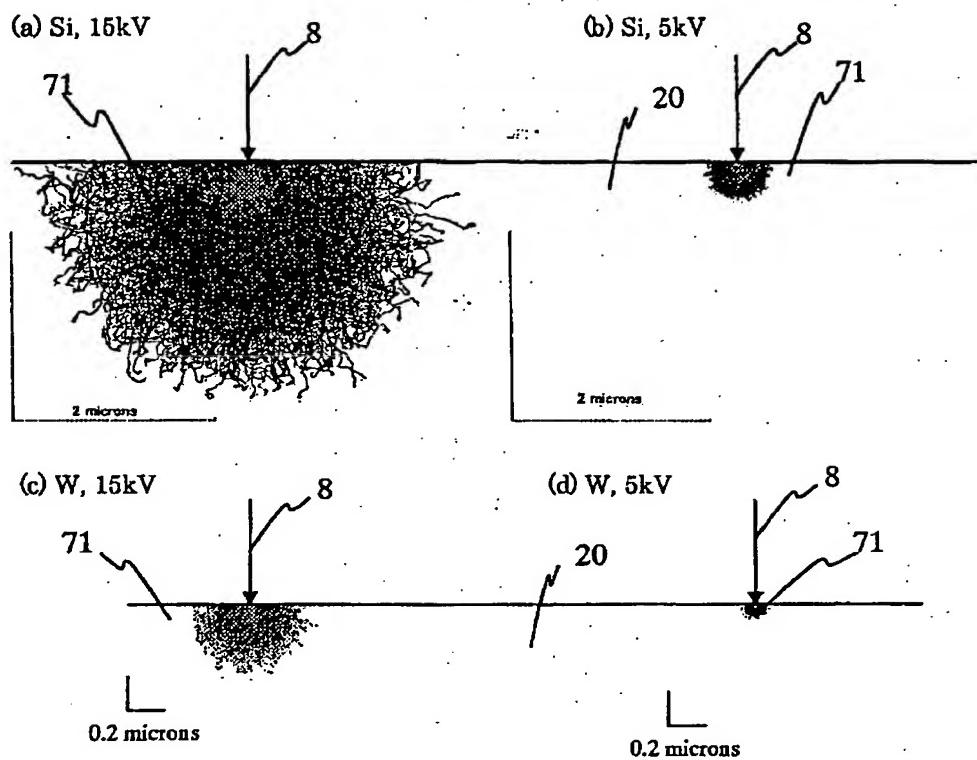
【図17】

図17

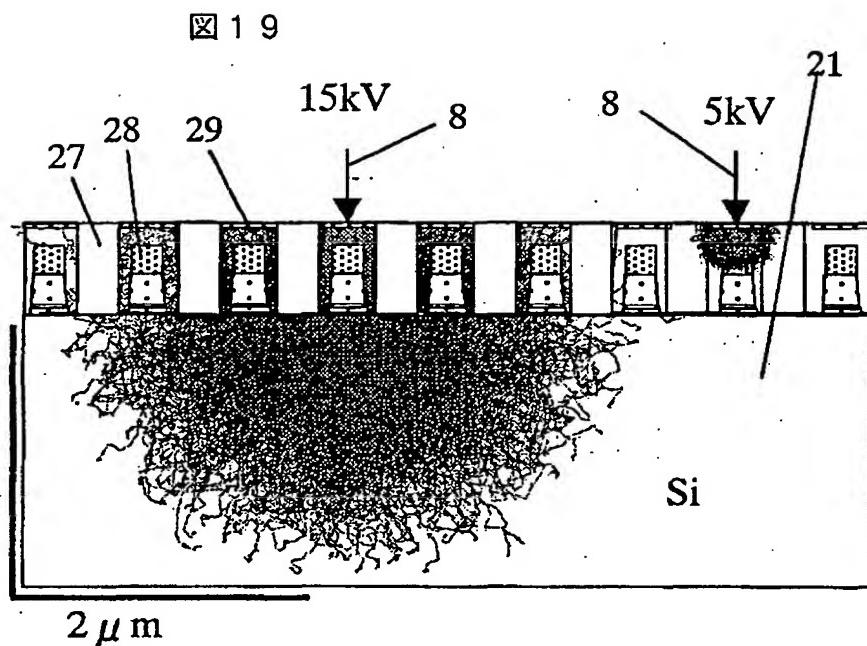


【図18】

図18

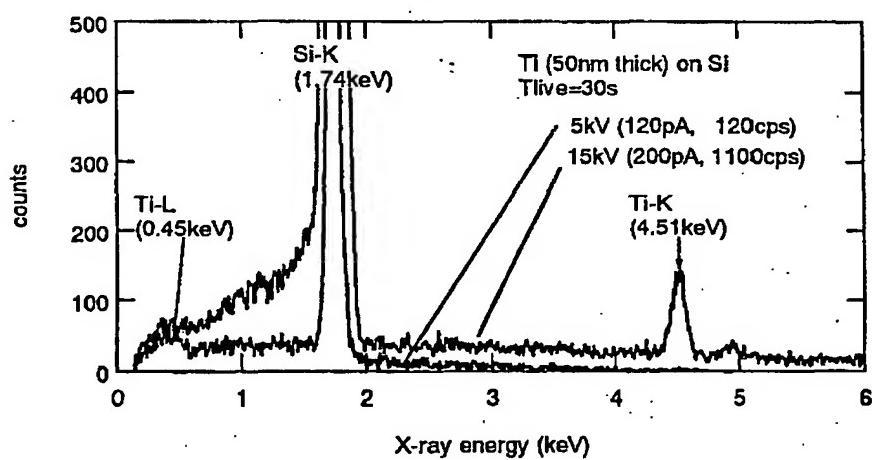


【図19】



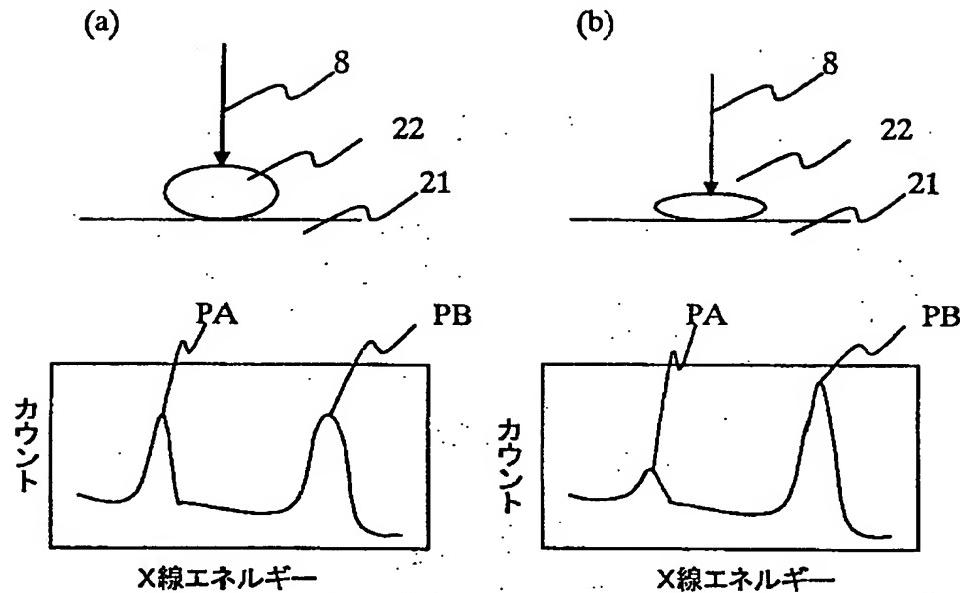
【図20】

図20



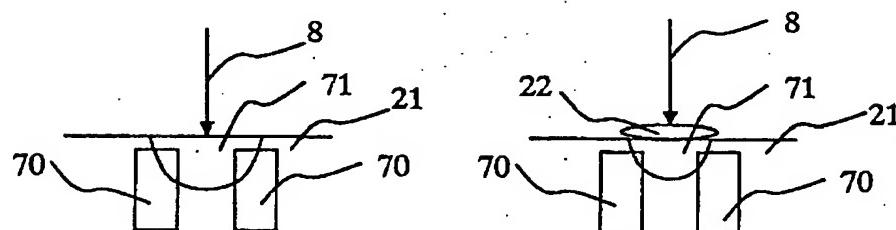
【図21】

図21



【図22】

図22



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 半導体素子等の製造歩留まり向上のために必要な異物元素検査である電子線を照射して試料から発生するX線による元素分析を、高精度、高分解能、高速に実施できる電子顕微鏡またはX線分析装置及び試料の分析方法を実現することを目的とする。

【解決手段】 電子線の加速電圧に応じてX線計数率が1000から2000cpsになるように自動的に電流を増減する手段と、X線スペクトルの分析のためにデータベースに格納した参照スペクトルと照合する際に複数個のX線エネルギー範囲を設定し、各X線エネルギー範囲ごとに照合を実施する手段と、2個以上の異なる加速電圧の電子線で取得したX線スペクトルの比から観測される元素の分布を分析する手段を備える。

【選択図】 図6

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2002-319247
受付番号	50201654839
書類名	特許願
担当官	鈴木 夏生 6890
作成日	平成14年12月10日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成14年11月 1日

次頁無

出願人履歴情報

識別番号 [501387839]

1. 変更年月日 2001年10月 3日

[変更理由] 新規登録

住所 東京都港区西新橋一丁目24番14号
氏名 株式会社日立ハイテクノロジーズ